



SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DE UNA CASA DE VEGETACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS FRUTALES[&]: RESULTADOS PRELIMINARES

V. García, A. Iriarte¹ y S. Flores^{2,3}

INENCO, Catamarca. Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa
M. Quiroga 93 - 4700 Catamarca, Argentina. Email: vgarcia@plab.unca.edu.ar

RESUMEN: En los últimos años se está realizando en INTA - Catamarca el monitoreo y control de una casa de vegetación para la producción de plantas frutales por los métodos de propagación agámica y reproducción por microinjertación. Esta casa debe ser hermética, a fin de regular adecuadamente la temperatura y la humedad requeridas por el material vegetal a multiplicar o reproducir. En este trabajo se presentan los primeros resultados de la simulación del comportamiento térmico de la casa de vegetación utilizando el programa *SIMEDIF para Windows*. Se estudia la influencia de las características constructivas a fin de predecir y estimar la performance térmica en invierno para diferentes requerimientos de los cultivos. La temperatura medida en el interior de la casa se compara con los resultados simulados.

PALABRAS CLAVE

Invernaderos, simulación, acondicionamiento de edificios.

INTRODUCCIÓN

En la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Catamarca (28,38° latitud Sur, 66° longitud Oeste, 600 m s.n.m.) se está utilizando la técnica de propagación agámica para la obtención de plantas de diferentes especies y variedades, y la técnica de microinjertación.

Ambas técnicas requieren de una construcción hermética con renovaciones de aire controladas a fin de regular adecuadamente la temperatura y humedad conforme a las necesidades del material a multiplicar o reproducir (Iriarte *et al*, 1999). Este recinto se denomina casa de vegetación o de propagación

En el diseño y construcción de la casa de vegetación, se tuvieron en cuenta las siguientes recomendaciones (Barranco *et al*, 1998):

- La temperatura de la casa de vegetación debe mantenerse entre 18 y 20 °C durante el día y alrededor de 15 °C en la noche.
- La temperatura en la parte basal de la estaca (zona de rizogénesis) debe estar comprendida entre 20 °C y 22 °C.
- El ambiente alrededor de las estaquillas debe ser muy húmedo y más fresco que el sustrato. Para esta situación se consideró un intervalo de humedades relativas entre 80 - 95%.
- El nivel de iluminación debe ser bajo para no estimular la fotosíntesis.

Por otra parte, cuando se requiere multiplicar especies y/o variedades por la técnica de microinjertación, las necesidades de la cicatrización de las uniones injerto - portainjerto requieren de alta humedad relativa y ciertos rangos de temperatura, cuyo valor depende de la especie. En el nogal esta unión no se produce si la temperatura ambiente se encuentra por debajo de los 20 °C o sobre los 38 °C, obteniéndose máxima cicatrización entre los 25 °C y 30 °C (Sitton, 1931).

En el presente trabajo se presentan los primeros resultados de la simulación térmica de una casa de vegetación para la producción eficiente de plantas de alta calidad a bajo costo. La simulación se realiza mediante el programa *SIMEDIF para Windows* desarrollado en el INENCO (Instituto de Investigación en Energía No Convencional) de la Universidad Nacional de Salta que permite simular el comportamiento térmico de edificios (Flores Larsen y Lesino 2001). Se comparan los resultados con los datos experimentales durante seis días de la periodo invernal.

[&] Parcialmente financiado: UNCa, INTA

¹ Investigador del CONICET

² INENCO, U.N. Salta

³ Becaria de CONICET

DISEÑO CONSTRUCTIVO DE LA CASA DE VEGETACIÓN

La casa de vegetación fue construida con un tinglado a dos aguas de 25 m de largo, 20 m de ancho, 2,60 m de altura lateral y 4,60 m de altura máxima. Las paredes laterales y frontales están compuestas por dos placas de cemento de 0,03 m de espesor con estructura de hierro interior ($\varnothing = 0,004$ m) separadas 0,10 m entre ellas. Entre cada placa se ha incorporado poliestireno expandido rígido de 0,03 m de espesor en contacto con la placa exterior del lado interno y se ha rellenado el resto de la cámara entre las dos placas con tierra seca de la zona.

La pared Oeste posee un cerramiento de viruta de paja de 20 m de ancho, 1,20 m de alto y 0,10 m de espesor que pertenece al sistema hydrocooling de refrescamiento evaporativo. Dicho sistema se completa con dos hileras de nebulizadores colocados en la parte superior y media del panel que moja la paja y de 5 extractores de 1,5 kW (2 HP) cada uno ubicados en la pared opuesta que mueven el aire a través de panel humedecido. El sistema funciona cuando la temperatura ambiente en la casa de vegetación sobrepasa los valores requeridos.

La cubierta es de baja transmitancia (0,42) con un sistema de aspersión que permite refrescarla en verano. Se utilizaron chapas de poliéster semitraslúcidas y verdes, ubicadas en forma alternada una con otra. La diferente coloración de las chapas y la instalación de la media sombra fueron incluidas a efectos de disminuir el ingreso de radiación al interior de la casa de vegetación durante el verano. Por encima de la cubierta se colocó una malla aluminizada de media sombra, corrediza, separada de la misma 0,30 m. En invierno la media sombra se encuentra recogida en su totalidad.

En el interior de la casa de vegetación se incorporaron siete túneles de plástico transparente de 2,50 m de alto, 2,50 m de ancho y 20 m de largo por donde circula aire húmedo. Cada túnel contiene dos hileras de mesadas de enraizamiento calefaccionadas tipo cajón, de 0,20 m de altura, 1 m de ancho y 3 m de largo, con patas que la elevan 0,80 m del piso. El calentamiento de las mesadas se realiza utilizando un sistema de tubos de polietileno de 0,0127 m ($\frac{1}{2}$ " de diámetro separados entre sí 0,05 m y por donde circula agua caliente que proviene de una caldera de 25 kW y es impulsada por una electrobomba de 746 W (1 HP). La temperatura se regula de acuerdo a las necesidades térmicas. Cada mesada se reviste interiormente con una malla tipo media sombra y se rellena con perlita. Se han construido 14 hileras con seis módulos de 3 m cada uno. Cada túnel contiene dos hileras de mesadas con un pasillo interior. Entre los túneles y el techo se instaló una segunda malla aluminizada de media sombra (60%) corrediza a los efectos de regular la radiación solar incidente de acuerdo a las necesidades térmicas y fisiológicas requeridas por cada sistema de producción.



Figura 1: Vista externa e interna de la casa de vegetación.

MONITOREO DEL EDIFICIO

Las mediciones y el control de las principales variables físicas de interés se realizó por medio de dos tarjetas de adquisición de datos (Keithley 1600 y PClab 812), colocadas en el bus de expansión de una computadora PC/AT. Las temperaturas de aire se midieron con sensores tipo diodo de silicio 1N914, la humedad relativa con puntas capacitivas Vaisala, la radiación solar interior y exterior con radiómetros Kipp & Zonen y Black & White y el nivel de iluminación con un luxómetro Digital Illuminance Meter Model TES-1330.

Los sensores para la medición de temperaturas fueron colocados en las caras internas y externas de cada pared, en el piso a 0,05 m de profundidad, en el interior y exterior de la casa de vegetación. Los sensores de humedad relativa y de radiación solar se ubicaron en el interior y en el exterior de la casa. En la Fig. 1 se observa en detalle la ubicación de cada uno de ellos.

El control de funcionamiento de la cámara de vegetación (bomba, ventiladores, cama calefaccionada, aspersores etc.) se realizó mediante termostatos programados adecuadamente para cada uno de los requerimientos.

La rutina de funcionamiento de la casa de vegetación establece que para valores de temperatura del aire sobre los túneles mayores que 22 °C se enciendan los extractores y la bomba de recirculación de agua asociados al sistema de enfriamiento

evaporativo. Por otro lado, la caldera, que funciona con gasoil como combustible, mantiene la temperatura del sustrato que contienen las mesadas, dentro de un intervalo comprendido entre 20 y 22 °C.

SIMULACIÓN MEDIANTE *SIMEDIF PARA WINDOWS*

El periodo de monitoreo abarca desde el 20 al 30 de Agosto, seleccionándose los 6 últimos días del mes para la realización de la simulación. Debido a que la casa de vegetación es un edificio liviano, se utilizaron tres días previos de simulación a fin de entrar en régimen y ajustar los datos iniciales monitoreados.

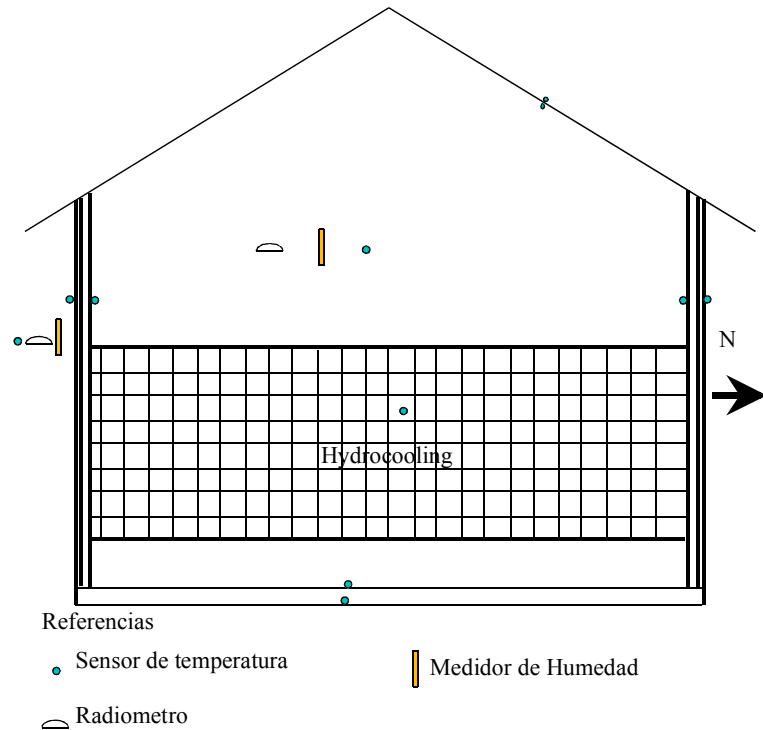


Figura 2. Corte de la Casa de Vegetación con la distribución de los sensores de medición

Durante el invierno no es necesario el uso del sistema enfriamiento evaporativo, por lo que éste no fue considerado. A los efectos de la simulación de la casa de vegetación se consideró como un único local de 1800 m³ de volumen, siendo las variables de ajuste el área irradiada y las renovaciones horarias de aire.

La radiación solar que ingresa al edificio y la que incide sobre las paredes externas se describe mediante los índices de radiación y las áreas de radiación. Los elementos con que trabaja SIMEDIF para la modelización de un edificio son paredes, tabiques, muros de agua, ventanas y ventanillas (Flores Larsen y Lesino 2001). En la modelización de la casa de vegetación se utilizaron paredes, tabiques y puertas, cuyas características se resumen en la siguiente tabla:

Componentes	Superficie (m ²)	Área de radiación	Nº de capas
<i>Paredes</i>			
Lateral Norte	65	65	4
Lateral Sur	61	0	4
Frontal Oeste	66,35	66,35	4
Frontal Este	46	46	4
Piso	500	150	2
<i>Tabiques</i>			
Techo	500	500	
Puerta	2	0	
Puerta	2	0	
Hidrocooling	24	24	
<i>Puerta</i>			
	2	0	

Tabla 1: Elementos utilizados en SIMEDIF para Windows para la descripción de la casa de vegetación.

Se fijaron los coeficiente convectivos interiores sobre paredes, pisos, techos y tabiques sin ganancia solar en $6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ y en $8 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para los asoleados. Los coeficientes convectivos externos se fijaron en 10 W m^{-2} . Las variables de ajuste fueron las renovaciones de aire por hora y el área de radiación del piso, encontrándose que 1 renovación de aire horaria y 150 m^2 de área de radiación fueron los valores que mejor ajustan los datos medidos. En esta área de radiación del suelo se excluyen la sombra de las mesadas que componen las camas de enraizamiento y el efecto de los túneles de plástico sobre la radiación que incide en el piso.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la Figura 3 se muestran las curvas correspondientes a la radiación exterior sobre superficie horizontal ($R_{h,exE}$), la temperatura ambiente exterior ($T_{a,exE}$), la temperatura interior medida de la casa de vegetación ($T_{a,inE}$), y la temperatura interior simulada ($T_{a,inS}$). Del análisis de los datos obtenidos se observa que para el primer día que la temperatura interior medida experimentalmente dentro de la casa de vegetación tiene un comportamiento similar a la obtenida utilizando el programa *SIMEDIF*. Durante el periodo ensayado, la temperatura media exterior fue de $11,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la correspondiente a la del aire en el interior de la casa es $16,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$. La simulación mediante *SIMEDIF* arroja un valor medio de temperatura de $16,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Entre las 10 hs y las 16 hs del primer, quinto y sexto día la curva simulada se aparta del orden de 3°C respecto de la medida, esto es debido a la variaciones de las condiciones internas de la casa por apertura y cierre de la puerta por el personal encargado de mantenimiento del material vegetal que se estaba propagando. Durante los días nublados (segundo y tercer día) la temperatura dentro de la casa disminuye alcanzando un mínimo de 10°C , siguiendo a la temperatura ambiente externa que desciende hasta los 5°C , observándose en ellos la mayor desviación entre las temperatura experimental y la obtenida de la simulación del aire interior, esto se debe a la influencia del aporte de las camas calefaccionadas situación no tenida en cuenta por el *SIMEDIF*.

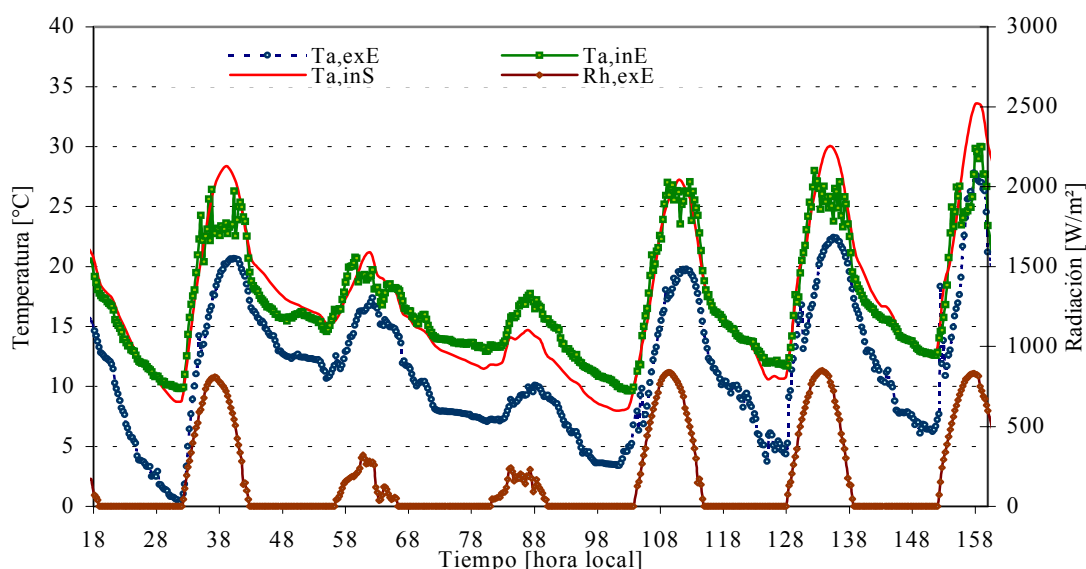


Figura 3: Comparación de datos medidos y simulados de la casa de vegetación en invierno.

CONCLUSIONES

Los primeros resultados obtenidos en la de la simulación de la casa de vegetación utilizando el programa *SIMEDIF para Windows* ajustan aceptablemente los datos medidos experimentalmente, lo que nos indica la posibilidad de predecir el comportamiento de sistemas para la producción de plantas utilizando este programa.

Se plantea la necesidad de realizar nuevas simulaciones con periodos de ensayos más prolongados, regular el ingreso de los operarios al interior de casa, incorporar las temperaturas aportadas por las camas de enraizamiento calefaccionadas en periodo invernal. Además, realizar las simulaciones para el periodo estival a fin de poder analizar el comportamiento de la casa con el sistema de humidificación en pleno funcionamiento con la posibilidad de modificar las renovaciones de aire.

BIBLIOGRAFÍA

Barranco D., Fernandez Escobar R., Rayo L.. El Cultivo del Olivo. pp 91-113.

Flores Larsen S., Lesino G., (2001) Modelo térmico del programa *SIMEDIF* de simulación de edificios. Energías Renovables y Medio Ambiente Vol 9, pág. 15 – 23.

- Gil Salaya, G. Fruticultura El Potencial Productivo. Crecimiento Vegetativo y Diseño de Huertos y Viñedos. Alfaomega. Ed. Universidad Católica de Chile. 1999.
- Hartmann, Hudson y Kester. Propagación de plantas. Principios y prácticas. Traducido por Antonio Ambrosio. México, Compañía Editorial Continental S.A. pp 810, 1981.
- Iriarte A., Lesino G., Matías C. y Tomalino L. (1999) Comportamiento Higrotérmico en invierno de una cámara para propagación de plantas. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 2, N° 1 pág. 02.13 – 02.16.
- Serrano Cermeño Z., Técnicas de Invernadero. Editado por Pao Suministros Gráficos S.A. Sevilla, 1990.
- Sitton, B. G. Vegetative propagation of the black walnut. Mich. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 119. EE.UU. 1931.

ABSTRACT

Agamic propagation and micro-grafting techniques are used in INTA-Catamarca to produce fruit plants, that grow in a special greenhouse where temperature and humidity levels are perfectly controlled. To simulate the thermal behavior of this building *SIMEDIF for Windows* code is used. *SIMEDIF* allows to predict the building thermal performance for a winter period. In this paper experimental and simulation results are presented. The measured and simulated temperatures inside the greenhouse are compared.